

カウンタ・タイマーICを用いたパソコンによる温度制御

第三技術室システム制御技術班

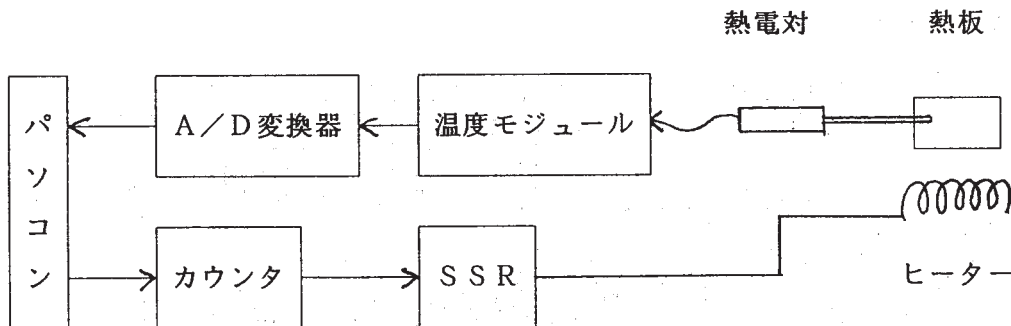
辻 正晴

1. 目的

化学実験、材料実験などにおいて温度制御は重要な要素である。ここで、最も問題となるのはオーバーシュートと呼ばれる設定値を超えてのち設定値に戻る現象で、ほとんどの制御器がこの性質を持っている。オーバーシュートが許容の範囲内ならば問題はないが、時には試料にダメージを与えることになり、これを極力抑制した制御が望まれる。

今回、カウンタ・タイマーIC 8253およびPWMジェネレータIC M66240の出力パルス幅がパソコンにより自由にコントロールできることに注目し、これをパルス幅変調(PWM)信号として、ヒーターのコントロールに応用し、オーバーシュートを極力抑制した温度制御システムの構築を目的とした。

2. システムの概要



3. 制御回路図

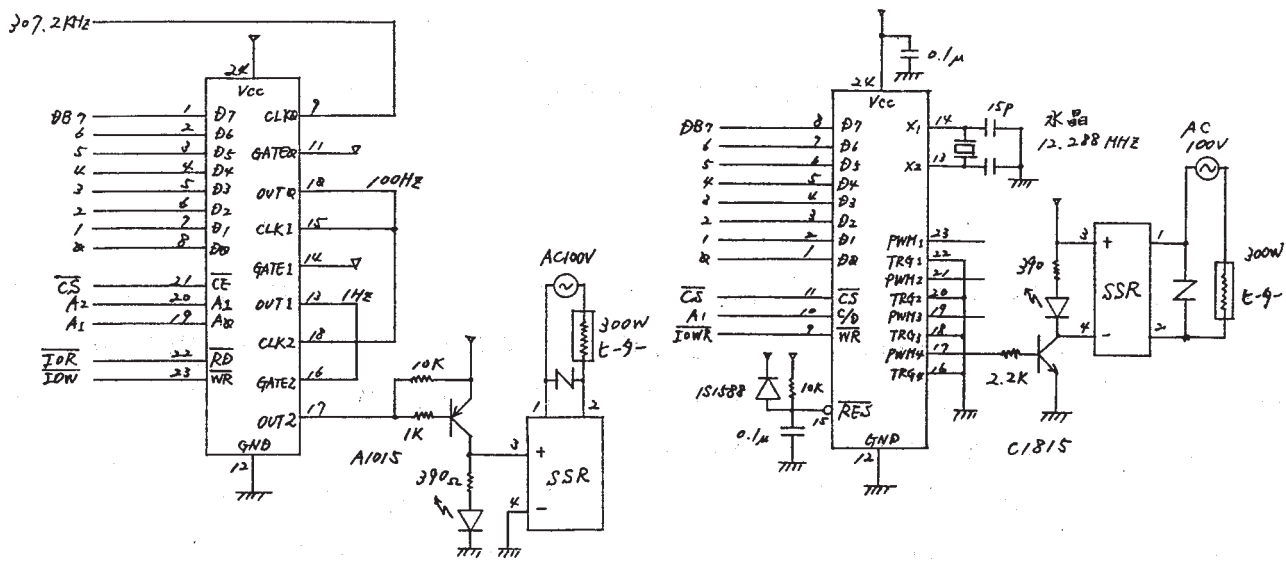
8253の回路図では、カウンタ0をMODE 3 (方形波レイト・ジェネレータ) とすることによってクロック (ここでは、307.2KHz) を100Hzに分周し、さらにカウンタ1はMODE 2 (レイト・ジェネレータ) とし1Hzを出力している。カウンタ2はMODE 1 (プログラマブル・ワンショット) とし1秒毎にカウント・レジスタの値に比例した負のパルスを出力する。このパルスをトランジスタを通してSSR (ソリッド・ステート・リレー) をドライブすることによりヒーター電圧の1秒間のON, OFF時間を制御し、結果として平均印加電圧をコントロールしている。なお、基板上にクロック回路を作り、それぞれのカウンタをMODE 0にして供給すれば3チャンネルの独立したコントロールも可能となる。

M66240の回路図ではチャンネルをMODE 0（PWMモード）とすることによってカウンタの値に比例した正パルスを出力することができる。

IC内部にクロック回路を持ち、独立した4チャンネルのコントロールが可能である。

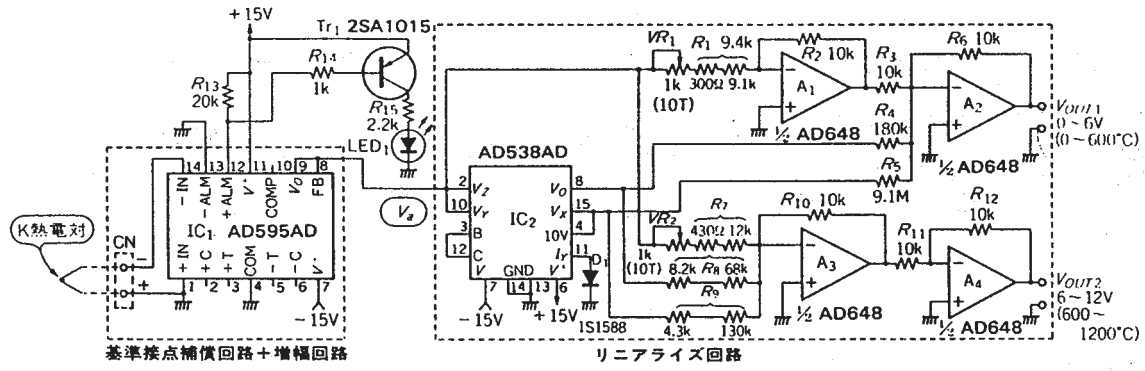
Programable Interval Timer 8253

PWM Generator M66240P



4. 温度の測定

温度の測定はK型熱電対とし、図のようなアンプを製作したが、外部ノイズの影響を受けやすく、単独使用以外は実用が困難なため、記録計付属の温度モジュール（理化電機製）を改造して使用した。温度モジュール（10mV/℃）からの出力は8ビットA/Dコンバータ（MB-4052M富士通製）で読み取っている。（回路図省略）



5. 制御方式

制御方式は、PID制御を簡略化した、リアクションカーブ法を用い、オーバーシュートを抑えるため、比例制御を併用した。

PID制御は式（1）のようにパラメータが三つ（K, Ti, Td）ある。

$$m = K \left(e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \frac{d}{dt} e \right) \dots\dots\dots (1)$$

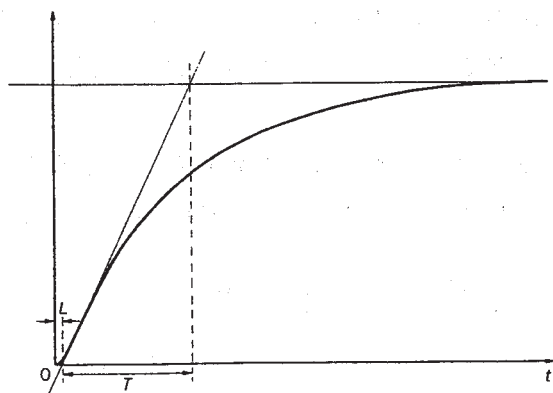
ここで、m : 操作変数、 e : 偏差、 K : 比例ゲイン
 Ti : 積分時間、 Td : 微分時間
 を表す。

リアクションカーブ法では、まず制御対象にステップ入力を加え、時間に対する出力（温度）変化を図のように記録する。この曲線より「むだ時間：L」と「一次遅れ：T」を求め、三つのパラメータを次式から簡略的に求めるものである。

$$K = 0.6 T / L, \quad T_i = 1.5 L, \quad T_d = 0.82 L$$

これらはプログラムで自動測定して求めることも可能であるが、今回は省力化しレコーダに記録し求めた。

ステップ応答によりLとTを求める



6. 制御演算式

式（1）を離散化した式（2）を用いる。

$$m(k) = m(k-1) + \alpha e(k) + \beta e(k-1) + \gamma e(k-2) \quad - (2)$$

ただし、 $\alpha = K(1 + T_s / T_i + T_d / T_s)$

$$\beta = -K(1 + 2 T_d / T_s)$$

$$\gamma = K T_d / T_s$$

ここで、 K ：比例ゲイン、 T_i ：積分時間、 T_d ：微分時間

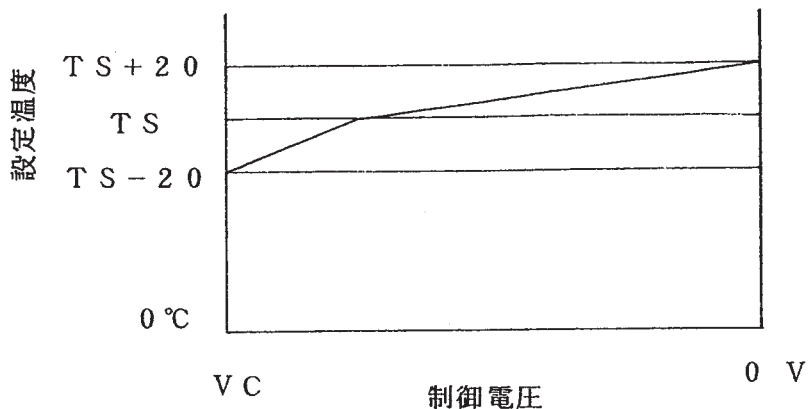
T_s ：サンプリング時間（0.6 L）

$m(k)$ ：現在の操作信号、 $m(k-1)$ ：一つ前の操作信号

$e(k)$ ：現在の偏差、 $e(k-1)$ ：一つ前の偏差、 $e(k-2)$ ：二つ前の偏差

6. 制御の実際

今回はオーバーシュートを極力抑制するため、設定値の -20°C からは図のような比例制御法も併用し、リアクションカーブ法より求めたデータ（VC）と比較し、計算結果の小さい方のデータをコントローラに与えた。



制御結果

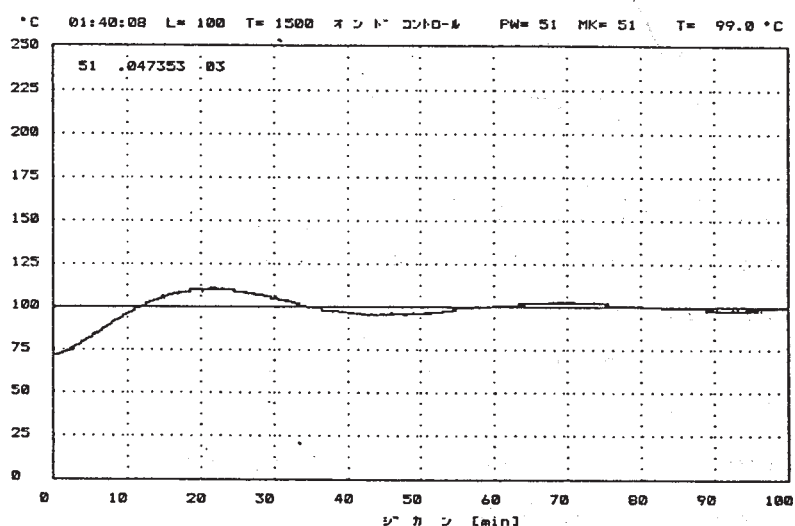
本実験で使用したホットプレートは、300Wの電熱器の上に120×120×20mmの真鍮板を置いたもので、むだ時間100秒、一次遅れ1500秒のものである。

リアクションカーブ法単独による制御結果は、図（A）のようにPID制御の場合とほぼ等しく、厳密な精度を要求しない場合の簡略法として代替できることがわかる。

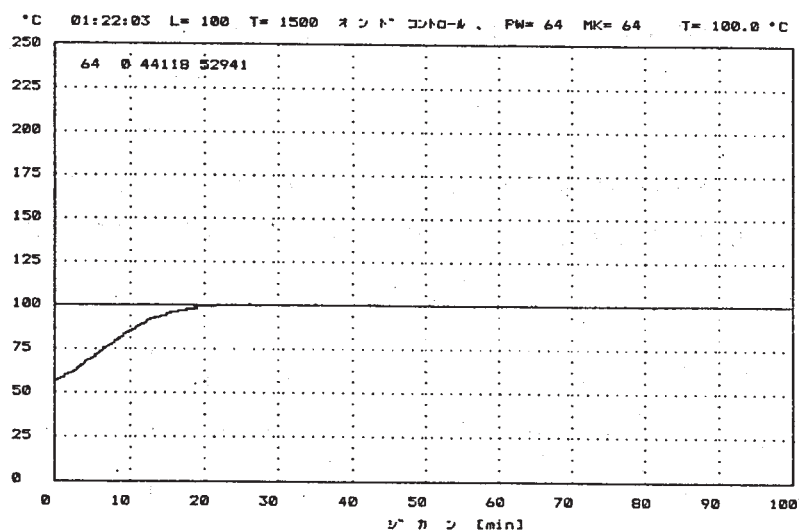
比例制御を併用した方式では図（B）のように、±1℃の制御が可能である。ここで、オーバーシュートを極力抑制するには、設定温度に対する印加電圧が適正であることが必要となり、その値は実験または経験的に求めることになる。よって、制御対象別に本制御までの予備実験が必要となる。

なお、制御最小電圧は制御出力カウンタに加える周波数分の1となるので、電源電圧が100Vの場合、100Hzでは1V、1000Hzでは0.1Vの制御が可能である。

図（A）



図（B）



参考文献

- (1) 佐竹一郎：「マイコンによるプロセス制御」 トランジスタ技術SPECIAL No.38 CQ出版社
- (2) 松井邦彦：「センサ応用回路の設計・製作」 CQ出版社
- (3) 辻 正晴：「デジタル計測」 材料工学実験，福井大学工学部材料化学科